

길쌘 부호와 이원 직교 부호에 의한 다중부호 부호분할 다원접속 시스템의 개선

正會員 김 기 범*, 신 요 안**

An Improvement on Multicode CDMA Systems Using a Convolutional Code and a Bi-Orthogonal Code

Ki-Bum Kim*, Yoan Shin** *Regular Members*

본 논문은 1997년도 숭실대학교 교내연구비 지원의 결과임

요 약

IMT-2000 시스템을 위한 전송 방식으로 활발히 연구되고 있는 다중부호 부호분할 다원접속 시스템은, 고속 데이터를 다수의 저속 데이터로 병렬 변환하고 이들 변환 신호를 직교 부호를 이용하여 구분한 뒤 동시 전송하는 방법이다. 이 논문에서는 부호율 $r=1/2$ 인 길쌘 부호와 이원 직교 부호를 이용함으로써, 기존의 시스템과 동일한 데이터 전송율과 처리이득을 유지하면서도 비트오율 성능을 월등히 개선하는 새로운 방식을 제안한다. 부가성 백색 정규 잡음 채널과 다중 경로 감쇄 채널에서 최대비 결합 갈퀴 수신기를 이용하는 동기식 시스템에 대한 모의 실험을 통해서 월등한 성능 향상이 가능함을 확인하였다.

ABSTRACT

The multicode CDMA systems that are widely studied as an effective transmission methodology in the IMT-2000 systems, employ orthogonal codes to transform high rate data into parallel, low rate data for simultaneous transmission. In this paper, we propose a new multicode CDMA system which achieves the same data rate and processing gain of the conventional systems, while significantly improves bit error rate performance by exploiting a convolutional code with code rate $r=1/2$ and a bi-orthogonal code. The simulation results for synchronous systems using maximal ratio combining Rake receivers under additive white Gaussian noise and multi-path fading channels, show significant improvements by the proposed system.

I. 서 론

*모토로라 반도체통신(주) 코리아 디자인 센터
 **숭실대학교 정보통신전자공학부
 論文番號 : 98047-0205
 接受日字 : 1998年 2月 5日

디지털 셀룰라와 PCS 시스템에 널리 사용되고 있는 직접수열 부호분할 다원접속 (direct sequence-code division multiple access) 시스템은 갈퀴 (Rake) 수신기

를 사용함으로써 주파수 선택적 감쇄 (fading)의 영향을 줄일 수 있고, 주파수분할 다원접속이나 시분할 다원접속과 같은 다른 방식에 비해 이동 통신 환경에서의 유연성, 보안성, 사용자 수용 능력 측면에서 월등한 강점을 가지고 있다[1,2]. 하지만, 직접수열 부호분할 다원접속 시스템은 최근 3 세대 이동 통신 시스템으로 대두되고 있는 IMT-2000에서 요구하는 수 kbps - Mbps까지의 다양한 데이터 전송율을 다루기 어려우며, 이는 특히 광대역 신호에 대해 심각한 주파수 선택적 감쇄가 발생하기 때문이다.

이러한 문제를 극복하기 위해, 직교 주파수분할 다중화 (orthogonal frequency division multiplexing)[3,4]나 다중반송파 부호분할 다원접속 (multi carrier-CDMA)[5,6]과 같이 다중 반송파를 이용하는 시스템들이 최근 활발히 연구되고 있다. 한편 단일 탭 등화기를 이용하여 주파수 선택적 감쇄의 영향을 보상하는 이들 방법과는 달리, 최근 제안된 다중부호 부호분할 다원접속(multicode CDMA)[7,8] 방식은 고속 데이터를 다수의 저속 데이터로 병렬 변환하고 이들 변환 신호를 월시 부호와 같은 직교 부호를 이용하여 구분한 뒤 동시 전송하는 방법으로서, 직접수열 부호분할 다원접속 시스템에서와 같이 갈퀴 수신기를 사용하여 다중 경로 채널의 주파수 선택적 감쇄의 영향을 상쇄할 수 있으며 소프트 핸드오프와 주파수 재사용 등과 같은 직접수열 부호분할 다원접속 시스템의 이점들을 그대로 사용할 수 있는 방법이다. 또한, 고속 데이터의 저속 데이터로의 병렬 변환으로 인해 높은 처리이득을 얻을 수 있으며, 음성, 화상 등과 같이 전송율이 크게 다른 다양한 데이터를 적절한 병렬 변환을 통해 동시에 수용할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 실제, 우리 나라를 포함한 세계 여러 나라에서 고려하고 있는 광대역 부호분할 다원접속이나 이를 기반으로 하는 IMT-2000 시스템에서는 대부분 다중부호 부호분할 다원접속 방식의 이용을 제안하고 있다[9].

이 논문에서는, 이러한 다중부호 부호분할 다원접속 시스템의 성능 개선을 위한 새로운 방법을 제안한다. 제안된 방법은 먼저 비트오율 성능의 향상을 위해 고속 데이터의 병렬 변환 전에 부호율 $r=1/2$ 인 길쌈 부호에 의해 부호 이득을 얻는다. 하지만, 이러한 오류정

정부호의 사용은 데이터 전송율과 처리이득을 떨어뜨리므로, 병렬 변환을 위한 직교 부호 대신에 이원 직교 (bi-orthogonal) 부호를 이용하여 이러한 감소를 보상한다. 따라서, 제안 시스템은 기존의 다중부호 부호분할 다원접속 시스템과 동일한 데이터 전송율과 처리이득을 유지하면서 비트오율을 월등하게 향상시킬 수 있다.

II. 다중부호 부호분할 다원접속 시스템

다중부호 부호분할 다원접속 시스템 또는 직교 순차분할 변조 (orthogonal sequency division modulation)는 한 사용자의 고속 데이터를 여러 개의 저속 데이터로 병렬 변환한 뒤 이들 저속 데이터를 월시 부호와 같은 직교 부호를 이용하여 변조, 구분하여 동시 전송하는 방식이다[7,8].

다중부호 부호분할 다원접속 시스템에서 동시 전송을 위한 다중화 방법은 신호의 직교성에 기반을 두고 있으며, 직교성의 보장을 위하여 M 개의 M -비트 수열 (sequence)로 구성된 $M \times M$ 월시 부호를 사용한다 (일반적으로 M 은 2 이상이며 2의 지수승을 고려한다). 월시 부호의 j 번째 M -비트 수열 $W_j(t) (j=0, \dots, M-1)$ 는 각 비트가 +1 또는 -1이며, 부호 비트 간격을 T_b 라 할 때 $T_w = MT_b$ (초) 동안 식 (1)의 완전 정규 직교 조건과 식 (2)의 선형성을 만족시킨다.

$$\frac{1}{T_w} \int_0^{T_w} W_j(t) \cdot W_k(t) dt = \begin{cases} 1, & j=k \\ 0, & j \neq k \end{cases} \quad (j, k=0, \dots, M-1) \quad (1)$$

$$W_j(t) \cdot W_k(t) = W_l(t) \quad (j, k, l \in \{0, \dots, M-1\}) \quad (2)$$

그림 1은 다중부호 부호분할 다원접속 시스템의 k 번째 사용자의 송신기 구조를 보여준다. 여기서, 비트 간격 T_b 인 M 개 입력 비트는 직렬-병렬 변환기를 거쳐 비트 간격 $T_w = MT_b$ 인 M 개 병렬 비트 $d_{k,j} (j=0, \dots, M-1)$ 로 변환되며, 이들은 M 개 월시 수열 $W_j(t) (j=0, M-1)$ 에 의해 각각 변조되어 합해진다. 이렇게 합해진 신호들은 동상 (in-phase) 및 직교 (quadrature) 채널로 복사되어 칩 간격이 $T_c (\ll T_b)$ 인 해당 사용자의 서명 수열 $C_k^{(I)}(t)$ 와 $C_k^{(Q)}(t)$ 에 의해 각각 확산되고, 해당 주 반송파에 의해 상향 변조되어 전송된다.

M 개의 병렬 비트 $d_{k,j}$ 의 비트 간격은 입력 비트 간격 T_b 에 비해 M 배 증가되고, 비트 에너지가 일정하게 유지되도록 크기가 \sqrt{M} 배만큼 감소된다. 이런 비트 간격의 증가로 인하여, 다중 경로에 의해 도착 지연 시간이 커지는 경우에 대하여 시스템이 둔감해지는 장점이 있다. 결국, $T_w \equiv MT_b$ 동안 k 번째 사용자의 송신 신호 $x_k(t)$ 는 아래 식 (3)과 같다.

$$x_k(t) = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_{j=0}^{M-1} d_{k,j} \cdot W_j(t) \cdot [C_k^{(1)}(t) \cos \omega_c t + C_k^{(0)}(t) \sin \omega_c t] \quad (3)$$

위 식에서 동상 채널의 서명 수열 $C_k^{(1)}(t)$ 은 아래와 같이 표현되고 직교 채널의 경우도 유사한 형태로 표현된다.

$$C_k^{(l)}(t) = \sum_{m=0}^{M-1} \left[\sum_{i=0}^{T_b/T_c-1} C_{k,i}^{(l)} \cdot \psi(t - mT_c - iT_c) \right] \quad (t \in [0, T_w]) \quad (4)$$

여기서, 입력 비트 간격 T_b 는 칩 간격 T_c 의 정수배라 가정하였고, $C_{k,i}^{(l)} \in \{+1, -1\}$ 는 동상 채널 의사 잡음 부호 (PN code)의 i 번째 칩, 그리고 $\psi(\cdot)$ 는 아래와 같은 구형 펄스를 나타낸다.

$$\psi(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0, T_c] \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

기지국에서 이동국으로의 순방향 연결 (forward link)을 고려하여 동기식 시스템을 가정할 때, K 명 사용자를 가진 다원 접속 시스템에서 송신기 출력 신호는 다음과 같다.

$$\sum_{k=0}^{K-1} x_k(t) = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_{k=0}^{K-1} \left\{ \sum_{j=0}^{M-1} d_{k,j} \cdot W_j(t) \cdot [C_k^{(1)}(t) \cos \omega_c t + C_k^{(0)}(t) \sin \omega_c t] \right\} \quad (t \in [0, T_w]) \quad (6)$$

다중부호 부호분할 다원접속 시스템에서의 처리이득은 간격이 MT_b 인 M 개 비트를 동시 전송하므로써 MT_b / T_c 가 되어, 데이터를 그대로 전송하는 경우인 직접수열 부호분할 다원접속 시스템에 비해 M 배만큼 향상된다. 그림 2는 L 개의 가락 (finger)으로 구성된 k 번째 사용자의 갈퀴 수신기 구조를 보여주며, 이 수신기의 구체적인 동작은 참고문헌 [8]을 참고하기 바란다.

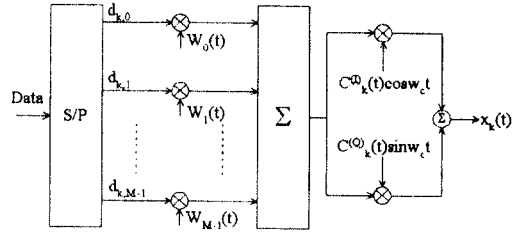


그림 1. 다중부호 부호분할 다원접속 시스템의 k 번째 사용자에 대한 송신기[8].

Figure 1. Transmitter of the multicode CDMA systems for the k th user[8].

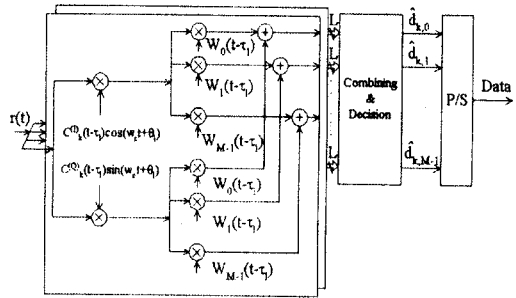


그림 2. 다중부호 부호분할 다원접속 시스템의 k 번째 사용자에 대한 갈퀴수신기[8].

Figure 2. Rake receiver of the multicode CDMA systems for the k th user[8].

III. 제안된 시스템

제안하는 다중부호 부호분할 다원접속 시스템의 개선 방식에서는 먼저 비트오율 성능의 향상을 위해 데이터의 병렬 변환 전에 부호를 $r=1/2$ 인 길쌈 부호[10]에 의해 부호 이득을 얻는다. 하지만, 이러한 오류정정 부호의 사용 때문에 데이터 전송율과 처리이득이 감소되므로, 병렬 변환을 위한 직교 부호 대신에 이원 직교 부호와 직교 반송파를 이용하여 이러한 감소를 보상한다. 따라서, 제안 시스템은 기존의 시스템과 동일한 데이터 전송율과 처리이득을 유지하면서 오류정정부호에 의한 부호 이득을 얻을 수 있는 시스템이다.

제안 방식에서 동시 전송을 위해 길이가 M -비트인 $2M$ 개의 수열로 구성된 $2M \times M$ 이원 직교 부호[11]을 이용한다. $2M \times M$ 이원 직교 부호는 $M \times M$ 원시 부호와 같은 직교 부호와 이에 대한 $M \times M$ 반극 부호

(antipodal code)를 조합하여 구성된다. 곧, 이 코드의 j 번째 M -비트 수열 $B_j(t)(j=0, \dots, 2M-1)$ 는 각 비트가 +1 또는 -1의 값을 가지며, 코드 비트 간격을 T_b 라 할 때 $T_w = MT_b$ 동안 식 (7), (8)을 만족시킨다.

$$B_j(t) = \begin{cases} W_j(t), j=0, \dots, M-1 \\ -W_{j-M}(t), j=M, \dots, 2M-1 \end{cases} \quad (7)$$

$$\frac{1}{T_w} \int_0^{T_w} B_j(t) \cdot B_k(t) dt = \begin{cases} 1, j=k \\ -1, j \neq k \text{ and } |j-k| = M/2 \quad (j, k=0, \dots, 2M-1) \\ 0, j \neq k \text{ and } |j-k| \neq M/2 \end{cases} \quad (8)$$

위에서, $W_j(t)$ 는 M -비트 월시 수열이다. 특기할 만 한 것은 $2M \times M$ 이중 직교 부호의 한 수열은 M -비트로서 $M \times M$ 월시 부호의 한 수열과 길이가 동일하다는 점이며, 제안 방식은 이러한 성질을 이용한다. 그림 3은 8×4 이원 직교 부호 수열 $B_j(t)(j=0, 1, \dots, 7)$ 의 파형을 도시한다.

그림 4는 k 번째 사용자에 대한 제안 방식의 송신기 구조를 나타낸다. 먼저 비트 간격이 T_b 인 M 개 입력 비트가 부호율 $r=1/2$ 인 길쌈 부호기에 의해 $2M$ -비트로 부호화된 후, 직렬-병렬 변환기를 거쳐 비트 간격이 $T_w = T_b$ 인 $2M$ 개 병렬 비트 $d_k(j=0, \dots, 2M-1)$ 로 변환되며, 이 병렬 비트들은 $2M$ 개의 M -비트 이원 직교 수열 $B_j(t)(j=0, \dots, 2M-1)$ 에 의해 변조된다. 변조된 $2M$ 개 신호는 직교성을 만족시키는 상위 및 하위 각각 M 개씩 합해져서, 칩 간격이 T_c 인 해당 사용자의 동상 및 직교 채널 서명 수열 $C_k^{(1)}(t)$ 와 $C_k^{(2)}(t)$ 에 의해 각각 확산되고, 해당 주 반송파에 의해 상향 변조되어 전송된다.

여기서 주의할 것은, 동상 채널이나 직교 채널에 의해 각기 전송되는 M 개 비트는 이원 직교 부호의 직교성을 이용하고, 이원 직교 부호에 의해 직교성이 보장되지 않는 두 채널 사이의 비트들은 반송파에 의한 직교성을 이용한다는 점이다. 또한, 제안된 방법에서도 기존 방식과 동일하게 간격이 MT_b 인 $2M$ 개 비트를 동시에 전송하므로써, 처리이득이 MT_b/T_c 가 된다.

K 명의 사용자에 대한 제안 방식의 동기식 다원 접속 시스템에서 $T_w = MT_b$ 동안에 전송되는 송신기 출력 신호는 식 (9)와 같다.

$$\sum_{k=0}^{K-1} x_k(t) = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_{k=0}^{K-1} \left[\sum_{j=0}^{M-1} d_{k,j} \cdot B_j(t) \cdot C_k^{(1)}(t) \cos \omega_c t + \sum_{j=M}^{2M-1} d_{k,j} \cdot B_j(t) \cdot C_k^{(2)}(t) \sin \omega_c t \right] \quad (t \in [0, T_w]) \quad (9)$$

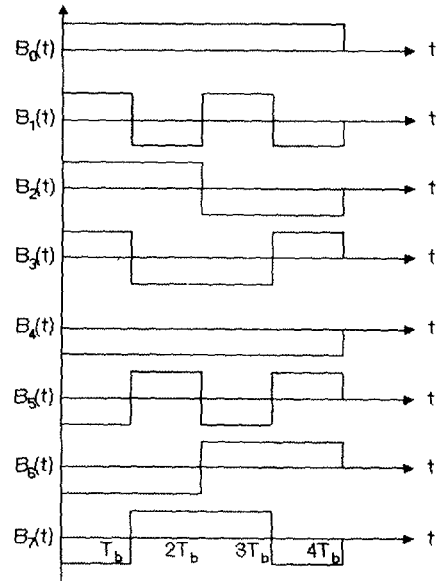


그림 3. 8×4 이원 직교 부호
Figure 3. 8×4 bi-orthogonal code.

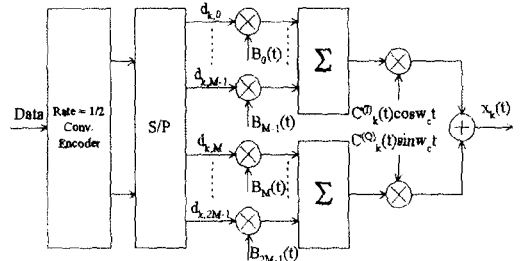


그림 4. 제안된 다중부호 부호분할 다원접속 시스템의 k 번째 사용자에 대한 송신기.
Figure 4. Transmitter of the proposed multicode CDMA system for the k th user.

그림 5는 제안 방식에서 L 개의 가락으로 구성된 k 번째 사용자의 갈퀴 수신기 구조를 보여준다. 여기서,

각 가락에서는 복사된 수신 신호 $r(t)$ 를 동상 및 직교 채널로 다시 복사하여 해당 채널의 사용자 서명 수열에 의해 역확산하고 반송파에 의해 동기 검파하여 $2M$ 개의 기저대역 신호로 변환한다. 이 기저대역 신호는 $2M$ 개의 해당 이원 직교 수열에 의하여 다시 곱해진 뒤, 다른 가락의 출력과 함께 결합-결정부에 입력된다. 결합-결정부에서는 $2M$ 개 신호 각각에 대해 L 개 다중 경로의 영향을 보상하고 상관기로 $2M$ 개의 병렬 비트 $\hat{d}_{k,j}$ ($j=0, \dots, 2M-1$)로 결정, 변환한다. 이들이 병렬-직렬 변환기를 거쳐 오류정정부호 비트로 변환되며, 이들은 경판정을 수행하는 비터비 복호기[10]에 의하여 복호되어 최종적으로 데이터 비트로 변환된다

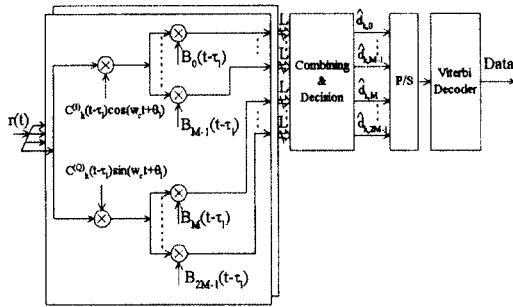


그림 5. 제안된 다중부호 부호분할 다원접속 시스템의 k번째 사용자에 대한 갈퀴 수신기.
Figure 5. Rake receiver of the proposed multicode CDMA system for the kth user.

IV. 모의 실험

모의 실험에서는 기존 방식과 제안 방식 모두 순방향 연결을 고려하여 동기식 시스템을 가정하였다. 동시 전송을 위한 부호로서 기존 방식은 8×8 월시 부호를, 제안 방식은 16×8 이원 직교 부호를 사용하였다. 입력 데이터의 전송율 $R_b = 1/T_b$ 은 76.8 kbps로 가정하여, 두 방식 모두 직렬-병렬 변환 뒤의 데이터 전송율 $R_b/M = 1/MT_b$ 이 9.6 kbps가 되도록 하였다.

사용자 구분을 위한 의사 잡음 부호로서 식 (10)의 원시 다항식으로 표현되는 주기 31의 m-수열[2]을 사용하였으며, 칩 전송율 $R_c = 1/T_c$ 은 2.3808 Mcps로 가정하여 직렬-병렬 변환 뒤의 처리이득 $MT_b/T_c = MR_c/R_b$ 는 248이 된다.

$$1+D^2+D^4 \tag{10}$$

제안 방식에서 사용되는 길쌈 부호로는 구속길이가 3이고 부호율 $r=1/2$ 인 부호기와, 추적깊이가 10인 비터비 복호기를 이용하였다. 식 (11)은 사용된 길쌈 부호기의 원시 다항식을 나타낸다.

$$1+D+D^2, 1+D^2 \tag{11}$$

채널 모델로는 부가성 백색 정규 잡음 채널과 저속 시변 주파수 선택적 다중 경로 감쇄 채널을 고려하였으며, 다중 경로 채널은 다음과 같은 탭지연선 충격 응답으로 모형화 하였다.

$$h(\tau; t) = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_l(t) e^{-j\theta_l(t)} \delta(\tau - lT_c) \tag{12}$$

여기서, T_c 는 칩 간격, L 은 다중 경로의 수, $\alpha_l(t)$ 는 레일라이 분포의 l 번째 경로 크기 왜곡, $\theta_l(t)$ 는 균일 분포의 l 번째 경로 위상 왜곡이다. 이러한 특성은 저속 시변 채널을 고려하여 병렬 변환된 데이터의 비트 간격 MT_b 동안 일정하게 유지된다고 가정하였다.

기존 방식과 제안 방식의 갈퀴 수신기는 최대비 결합기[10]를 고려하였으며 전송 시간 지연, 채널의 크기 및 위상 왜곡이 완벽히 추정되었다고 가정하였다. 이들 방식의 성능은 정규 잡음 채널과 위에서 설명된 $L=1, 2, 4$ 인 다중 경로 채널에서 E_b/N_0 의 변화에 따른 비트오율의 변화를 추정하므로써 비교되었다.

그림 6은 단일 사용자에 대한 두 방식의 성능을 비

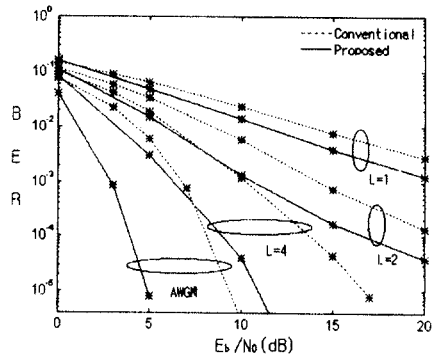


그림 6. 단일 사용자에 대한 기존 방식과 제안 방식의 비트오율 성능.
Figure 6. Bit error rate performances of the conventional and the proposed systems for a single user.

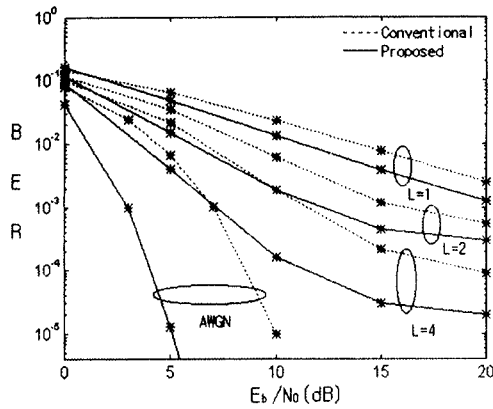


그림 7. 6명 사용자의 다원접속에 대한 기존 방식과 제안 방식의 비트오율 성능.
Figure 7. Bit error rate performances of the conventional and the proposed systems for a multiple access of 6 users.

교하며 정규 잡음 채널이나 다중 경로 채널 모두에서 적은 E_b/N_0 에서는 두 방식이 유사한 성능을 보이나, E_b/N_0 가 커질수록 제안 방식에 의해 월등한 성능 향상이 있음을 알 수 있다. 그림 7은 6명의 사용자가 다원 접속한 경우 비트오율을 보여주는 것으로서, 그림 6과 마찬가지로 제안 방식에 의해 매우 큰 성능 개선이 가능함을 알 수 있다. 보기를 들어, 6명 사용자의 다원 접속한 경우 10^{-4} 의 비트오율에서 정규 잡음 채널의 경우 약 5 dB, 다중 경로 개수 $L=4$ 인 감쇄 채널의 경우 약 10 dB 가량의 월등한 성능 향상이 가능함을 알 수 있었다.

그림 8은 단일 사용자의 경우와 6명 사용자의 경우에 대해 제안 방식의 성능을 도시한다. 이로부터 제안 방식에서도 직접수열 부호분할 다원접속이나 기존의 다중부호 부호분할 다원접속 시스템과 마찬가지로 사용자 구분을 위해 직교성이 완전하지 않은 의사 잡음 부호를 사용하는 까닭에 상관기를 이용할 때 다른 사용자들에 의한 "다원접속 간섭" 때문에 성능이 떨어지며, 따라서 다원접속 간섭 제거 알고리즘[12,13,14] 등을 통한 추가 성능 개선의 필요성이 있음을 알 수 있다.

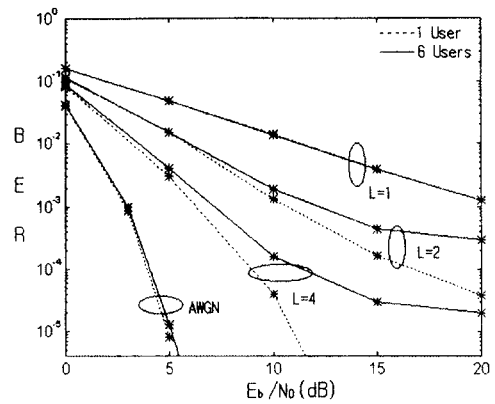


그림 8. 단일 사용자와 6명의 사용자에 대한 제안 방식의 비트오율 성능.
Figure 8. Bit error rate performances of the proposed system for a single user and 6 users.

V. 결론

차세대 광대역 멀티미디어 무선 통신 서비스인 IMT-2000을 위해 활발히 연구되고 있는 다중부호 부호분할 다원접속 시스템의 성능 향상 방법으로서, 부호율 $r=1/2$ 인 길쌈 부호와 이원 직교 부호를 이용하여 기존 방식과 동일한 데이터 전송율과 처리이득을 유지하면서도 비트오율을 월등히 개선하는 새로운 방식을 제안하였다. 모의 실험을 통해 확인된 제안 방식의 성능은 부가성 백색 정규 잡음 채널과 다중 경로 감쇄 채널에서 동일한 데이터 전송율을 유지하면서 단일 사용자나 여러 사용자의 다원접속 시 기존 방식보다 월등한 비트오율 향상이 가능함을 보여주었다.

이 논문에서는 제안 방식의 동작 원리 제시와 실험을 통한 성능 평가에 초점을 맞추었다. 추후 연구 방향으로서, 먼저 참고 문헌 [8]에서 기존의 다중부호 부호분할 다원접속 시스템을 위해 수행한 해석과 유사하게 제안 방식의 성능을 해석하는 연구가 수행되어야 할 것이다. 다음으로, 여기서는 순방향 연결을 고려하여 동기식 시스템을 가정하였으나, 역방향 연결을 고려하여 비동기식 시스템에 대한 연구 역시 계속되어야 할 것으로 사료된다. 또한 전송 시간 지연, 채널의 크기 및 위상 왜곡을 불안전하게 추정했을 때

성능이 떨어지는 문제에 대한 연구 역시 계속되어야 할 것이다.

그림 8에서 살펴 본 대로, 제안 방식에서도 의사 잡음 부호를 사용하는 까닭에 다원접속 간섭으로 성능이 떨어진다. 이러한 간섭은 다중 경로 채널에서 많은 사용자가 동시 접속할 때 성능을 심각하게 악화시키며, 우리는 기존 방식과 제안 방식에서 이러한 간섭의 제거를 위해 역상관기[13]의 사용을 제안하고 기초적인 결과를 이미 보고하였다[15,16]. 이 방향의 추후 연구로서 다양한 간섭 제거 알고리즘에 대한 비교 분석과 다중부호 부호분할 다원접속 시스템에 적합한 새로운 알고리즘의 개발 등을 수행하여야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. W. C. Y. Lee, "Overview of cellular CDMA," IEEE Trans. Vehicular Tech., Vol. 40, pp. 291-302, May 1991.
2. A. J. Viterbi, CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication, Addison-Wesley, 1995.
3. S. Kaiser, "OFDM-CDMA versus DS-SS-CDMA: Performance evaluation for fading channel," Proc. Int'l Conf. Comm., Vol. 3, pp. 1722-1726, Seattle, USA, June 1995.
4. 정영모, 이상욱, "다중 경로 페이딩 채널에서 OFDM의 성능분석," 한국통신학회논문지, 제21권, 2923-2931쪽, 1996년 11월.
5. A. Chini, M. S. El-Tanany and S. A. Mahmoud, "On the performance of a coded MCM over multipath Rayleigh fading channels," Proc. Int'l Conf. Comm., Vol. 3, pp. 1689- 1694, Seattle, USA, June 1995.
6. C. Reinert and H. Rohling, "Multicarrier transmission technique in cellular mobile communications systems," Proc. Vehicular Tech. Conf., Vol. 3, pp. 1645-1649, Stockholm, Sweden, June 1994.
7. H. Zhang and D. Rutkowski, "Orthogonal frequency division modulation - A novel method for future broadband radio services," Proc. Vehicular Tech. Conf., Vol. 2, pp. 810-814, Chicago, USA, July 1995.
8. 김연진, 김남수, "멀티미디어 전송을 위한 다중부호 CDMA 시스템의 성능분석," 한국통신학회 추계종합학술발표회 논문집, 36-39쪽, 1996년 11월.
9. 한국통신학회지, IMT-2000 특집, 제14권, 1997년 11월.
10. J. G. Proakis, Digital Communications, 3rd Ed., McGraw-Hill, 1995.
11. B. Sklar, Digital Communications: Fundamentals and Applications, Prentice-Hall, 1988.
12. S. Moshavi, "Multi-user detection for DS-SS-CDMA communications," IEEE Comm. Mag., Vol. 34, pp. 124-136, October 1996.
13. Z. Zvonar and D. Brady, "Linear multipath decorrelating receivers for CDMA frequency selective fading channels," IEEE Trans. Comm., Vol. 44, pp. 650-653, June 1996.
14. R. Lupas and S. Verd, "Linear multiuser detectors for synchronous code-division multiple-access channels," IEEE Trans. Inform. Theory, Vol. 35, pp. 123-136, January 1989.
15. 김기범, 신요안, "다중 경로 페이딩 채널에서 decorrelating detector를 이용한 다중부호 CDMA 시스템의 성능 향상," 제10회 신호처리 합동학술대회 논문집, 793-796쪽, 1997년 9월.
16. K.-B. Kim and Y. Shin, "A decorrelating detector for an improved multi-code CDMA system," Proc. 2nd CDMA Int'l Conf., Vol. 2, pp. 324-328, Seoul, October 1997.

